四川北部及川甘青交界地区强震活动与趋势

江道崇
(成都地震基准台,成都 611730)

摘要 分析了四川北部及川甘青交界地区强震活动的基本格架和特点.指出区内强震活动主要受北东向分布带所控制.对北东向分布带分期活动特点及区域特征的分析表明,研究区未来几年将处于中强震活动水平.结合强震发生后安全区及安全期统计关系,认为茂汶—北川—汶川及大邑—天全—宝兴地区是未来几年可能发生中强震的非安全区.礼县—天水—武山一带也需予以注意.

主题词 地震活动性 趋势预报 四川
中国图书分类号 P315.5

0 引言

四川北部及川甘青交界地区大体位于南北带中段的北半部,强震活动强弱的空间差异极为明显.有的区域发生过8级大震,有的区域中强震乃至7级以上地震频繁发生,有的区域活动性则很低,因此该地区地震活动十分复杂.至1997年,历史上曾发生8级大震2次,7级地震9次,6级地震24次.

1976年松潘7.2级地震是本世纪以来继迭溪7½级地震后的又一次重大地震事件,成为全国地震活动高潮中的一次显著地震,而后该区处于相对平静状态.正值南北地震带新的活跃幕开始之际,1989年小金6.3级地震的发生引起了人们的注目.四川北部地区有否可能出现新的活跃?尤其1993~1995年间该区出现了明显的中等地震活跃过程,4级以上地震形成有序的环形分布圈,更加深了对该区强震危险性的注意.其强震趋势是人们关心的问题,值得加以研究.

1 研究范围及资料

研究范围的选取考虑到区域研究的需要,同时尽量反映区内地震活动特点和较完整的构造背景.选取结果如图1所示.图中标出了研究区6个顶点的座标,其范围包括龙门山地震带、松潘地震带及川甘和川青交界地区,大体是文献[1]所划的川青块体主要地震活动区.主要构造走向为北东向、南北向和北西向.

该区大部分属于交通不便、人烟稀少的山区,史料记载欠完整.6级以上地震记载相对集中于17世纪以后.表1给出了统计结果.为此用1600年以来6级以上地震作震级—频度曲线(图2)得

收稿日期:1997-12-10
作者简介:江道崇,男,1941年6月生,高级工程师,从事分析预报研究.

$$\lg\sum N = 4.850 - 0.568M \quad (\Delta M = 0.3, r = 0.985)$$

当 $\alpha = 0.01$ 时, $r_0 = 0.874$. $r > r_0$ 通过相关检验. 从图 2 可以看出, 1600 年以来该区 6 级以上地震基本没有遗漏, 用于研究区内强震活动特点及活动背景是适宜的.

2　研究区强震活动的基本格架

为了展现研究区历史地震活动的全貌, 图 1 给出了有史以来 5 级以上地震的震中分布. 区内主体构造走向是北东向, 另有南北向、北西西向及北西向多组断裂展布. 除了龙门山断裂和岷江断裂外, 其余断裂在区内只有局部展布, 是不完整的. 实际地震活动既与区内构造活动有关, 也可能受大区域或深层次构造活动的控制与影响. 从地震活动分析看, 区内强震活动可划分为 3 个分布带, 即北东向分布带、北西向分布带和近东西向分布带. 显然, 北东向分布带 是区内强震活动的主体, 它集中了区内主要的强震和大震, 成带性很强. 其次是两条次一级分布带, 即研究区北部(主要由甘肃境内强震组成)的近东西向分布带和研究区西南部的北西向分布带. 它们都主要由 5～6 级中强震组成, 频度大大低于北东向分布带. 上述 3 条分布带构筑了研究区强震活动的基本格架. 除此之外, 其余地区均为历史上强震活动的相对安全区.

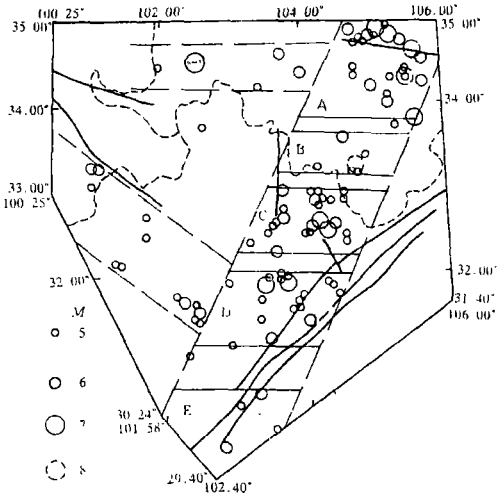

图 1　四川北部及川甘青交界地区 5 级以上地震分布

Fig. 1　Distribution of $M \geqslant 5.0$ earthquakes in the north of Sichuan Province and its vicinity since B. C. 780.

表 1　研究区强震随时间分布情况

震级	1000～1599	1600～1699	1700～1799	1800～1899	1900～1997	Σ
$M=8$	0	1	0	1	0	2
$8>M\geqslant7$	0	0	2	0	3	5
$7>M\geqslant6$	2	4	2	3	11	22
Σ	2	5	4	4	14	29

3　北东向分布带强震活动的主要特点

由图 1 可见, 该分布带沿着龙门山中南段、岷江断裂经武都至天水呈北东向展布. 它与地表展布的构造走向并不一致, 似乎受到更深层次的构造活动的控制. 其北端已与北西向构造相接, 天水以北强震活动已出现空段. 从强震活动轨迹看, 已构成相对独立的北东向强震活动带, 相应的弱小地震分布也具有明显的带状特征. 因此, 这里所划出的北东向分布带基本上属于相对独立的地震活动单元. 因此, 对其研究是有意义的. 其主要特点表现在以下几方面.

3.1　分段差异性

带上不同地段强震活动的频度、强度不相同. 据此可将其大体划分为 5 段(图 1). 其中, A、C、D 段频度较高, B、E 段频度较低. 强度则呈现自北而南依次递减特点. A 段强度最大, 发生有 8 级大震, 并有若干 7 级以上地震; B 段虽有 8 级地震发生, 但其它强震频度明显低于 A 段; C、

D段没有8级地震，两段虽然均发生2次7级以上地震，但C段6级以上地震频度高于D段；而E段则只有个别6级以上地震发生.

3.2 韵律性

带内6级以上地震具有明显的韵律性起伏特点.图3给出了1600年以来6级以上地震的时、空、强分布，显示有较清楚的活动期和平静期.分期及活动情况列于表2，，每一活动期持续时间约50a，平静期在48a以上.

3.3 南北迁移特征

每一活动期中，6级以上地震总体表现为南北迁移的特点.但在向北或向南迁移过程中可能出现"过渡"，而不是"一次到位".因此，较难判别在迁移方向上何时转折(图3).

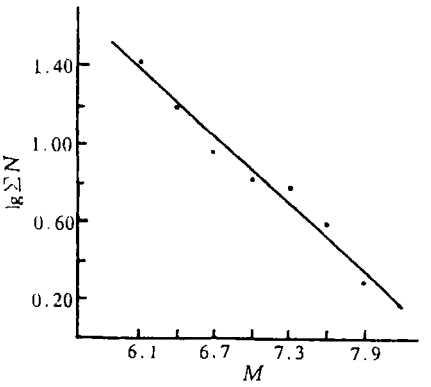

图2 研究区震级-频度关系曲线(1600～1997)

Fig.2 The magnitude-frequency curve in the studied region.

4 6级以上地震发生前的一种期待标志

1600年以来，研究区发生6级以上地震27次，除去青海久治2次6级地震，并将1976年松潘7.2级震群作为一次地震事件看待，则有23次6级以上地震作为统计样本.其中19次地震前不等时间(震前2a占55%)在未来震中110 km范围内发生1～2次5级以上地震，占总数的83%.也就是说，在未发生5级以上地震情况下，其附近发生6级以上地震的可能性只有17%.统计情况由表3给出.因此，这可以作为预报某区发生6级以上地震的一种期待标志.1500年以来共发生28组(次)5级以上地震，震后在110 km范围内发生6级以上地震17次，占61%.这说明，研究区内6级以上地震之前往往先发生1～2次5级以上地震，这种"期待地震"对于预报未来6级以上地震是一种重要的"等待标志".期待地震未出现时，本区相对较为安全.出现后存在61%的发震可能.其时间预测跨度较大，实际中较难掌握.但2～3a内是一个重要时间.在这一时期内发震的占57.9%.它表明本区可能进入了非安全时期.可与其它前

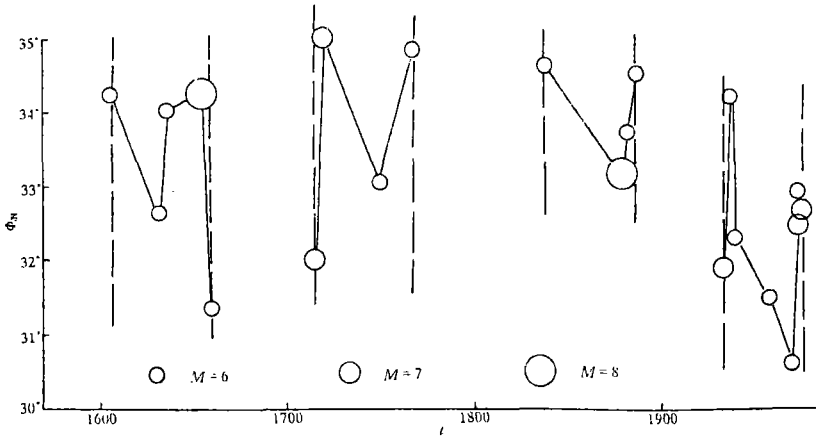

图3 四川北部及川甘青交界地区北东向分布带强震活动分期及迁移图

Fig.3 The division of seismicity periods and figure of earthquake migration along the north-east seismic belt in the studied region.

兆配合,参与中短期预测.

5　强震后安全区与安全期特征

一次强震发生后,在震源区附近一定范围、一定时间内将产生"免疫"作用.文献[2]统计了云南地区的特征,对中长期预测有一定的意义.本文将震源附近一定范围内不发生 5 级以上地震的区域称为"安全区",其相应时间为"安全期".安全区与安全期是相互关联的.一般说来,安全区大,则安全期短.

表 2　四川北部及川甘青交界地区北东向分布带分期活动性统计(1600～1997)

分期	地震						持续时间 (a)	频度 N	最大震级 M_{max}	$\sum\sqrt{E}(\times 10^6)$
	序号	时间	北纬	东经	地点	震级				
Ⅰ (1604～1657)	1	1604-10	34.2°	105.0°	礼县	6	54	5	8	290.88
	2	1630-01	32.6°	104.1°	松潘	6¼				
	3	1634-01	34.0°	105.2°	西和	6				
	4	1654-07	34.3°	105.5°	天水	8				
	5	1657-04	31.3°	103.5°	汶川	6¼				
Ⅱ (1713～1765)	6	1713-09	32.0°	103.7°	茂汶	7	53	4	7½	188.30
	7	1718-06	35.0°	105.2°	通渭	7½				
	8	1748-05	33.0°	103.7°	松潘	6½				
	9	1765-09	34.8°	105.0°	武山	6½				
Ⅲ (1837～1885)	10	1837-09	34.6°	103.7°	岷县	6	49	4	8	293.80
	11	1879-07	33.2°	104.7°	武都	8				
	12	1881-07	33.6°	104.6°	礼县	6½				
	13	1885-01	34.5°	105.7°	天水	6				
Ⅳ (1933～1976)	14	1933-08	31.9°	103.4°	茂汶	7½	44	8	7½	253.58
	15	1936-08	34.2°	105.7°	天水	6				
	16	1938-03	32.3°	103.6°	松潘	6				
	17	1958-02	31.5°	104.0°	北川	6.2				
	18	1960-11	32.7°	103.7°	松潘	6¾				
	19	1970-02	30.6°	103.3°	大邑	6¼				
	20	1973-08	32.9°	104.1°	黄龙	6.5				
	21	1976-08	32.6°	104.1°	松潘	7.2				

注:Ⅰ、Ⅱ期间隔 56a;Ⅱ、Ⅲ期间隔 72a;Ⅲ、Ⅳ期间隔 48a;Ⅳ期后已平静 21a.

表 4 统计了研究区内 24 次 6 级以上地震后的安全区及安全期情况.为了寻找在给定的安全区范围内安全期与强震震级的关系,对表中的资料作以下考虑和处理:选取安全区 80～100 km 范围,对安全区内已发震的震例进行统计;考虑到历史上 5 级左右地震容易遗漏,因此 6 级以上地震采用本世纪以来的震例;舍掉 1933 年迭溪 7½ 级及 1938 年松潘 6 级这两次与同档次地震特点明显差异的地震.

在此基础上得出安全期与强震震级的统计关系

$$\lg\Delta t = 0.341M - 0.905 \pm 0.201 \qquad (t \text{ 的单位:a})$$

$$S = \pm 0.201, r = 0.846$$

当 $\alpha = 0.01$ 时,$r_0 = 0.798$. $r > r_0$,通过相关检验.从统计角度可大体估计出各档次震级的安全期时间(表 5).

以上所述只是一种统计特征,实际影响因素比较复杂,可大体对安全区的危险性进行中长

期预测.

6 趋势分析

强震活动基本格局表明,区内北东向分布带是强震的主体活动带.它具有明显的分期活动特点.图3及表2均表明,第Ⅳ活动期已于1976年松潘7.2级地震后结束,至今已持续平静21a,根据活动特点分析,还将可能持续较长时间的平静.除此之外,研究区内北西向和近东西向分布带主要发生5~6级中强震,且频度不高.因此推测整个研究区未来几年将维持在中强震活动水平上,难于发生7级以上地震.

表3 四川北部及川甘交界地区6级以上地震前5级以上地震发生情况统计(1600~1997)

序号	主震			主震前的5级以上地震				
	时间	地点	震级	时间	地点	震级	距主震时间(a)	与主震距离(km)
1	1604-10	礼县	6					
2	1630-01	松潘	6¼	1623-06	松潘	5½	6.5	原地
3	1634-01	西和	6	1631	徽县南	5	3(?)	90
4	1654-07	天水	8	1641	天水	5	13(?)	23
5	1657-04	汶川	6½	1597-06	汶川-茂汶	5½	59.2	45
6	1713-09	迭溪	7					
7	1718-06	通渭	7½					
8	1748-05	松潘	6½	1738-05	南坪	5¾	10	54
9	1765-09	武山	6½	1765-05	临洮	5½	0.3	110
10	1837-09	岷县	6					
11	1879-07	武都	8	1879-06	武都	5¾	(2d)	原地
12	1881-07	礼县	6½	1880-06	文县	5½	1	72
13	1885-01	天水	6	1882-10	礼县	5	2.2	95
14	1933-08	迭溪	7½	1932	马尔康	5	1(?)	110
15	1936-08	天水南	6	1921-02	通渭	5½	15.5	90
16	1938-03	松潘南	6	1934-06	茂汶	5½	3.7	32
17	1941-10	黑水	6	1940	茂汶	5½	1~2	76
18	1958-02	北川	6.2	1952-11	茂汶	5½	5.2	68
19	1960-11	漳腊	6¾	1960-03	松潘	5	0.6	59
20	1970-02	大邑	6.2	1962-07	洪雅	5.1	7.5	76
21	1973-08	黄龙	6.5	1973-05	黄龙	5.1	0.2	16
22	1976-08	松潘	7.2	1974-11	松潘	5.7	1.8	36
23	1989-09	小金	6.3	1989-03	小金	5.0	0.5	14

注:取距主震110 km以内作为统计范围.

根据区内6级以上地震前往往发生1~2次5级以上地震的特点,认为只有发生过一组5级地震(1961年10月岷县5.7级及1962年12月甘谷5.2级)的这一地区尚可作为6级以上地震的预报区.该区位于北东向分布带的A段礼县—天水—武山一带.展布有北西西向构造,历史上发生过多次强烈地震,具有发震条件和背景.5级以上地震发生的事实表明,该区可能进入了非安全时期.由于它不是一种必震标志,未来发震的可能只有60%,且距今已30多年,不排除不发震的可能.该区可作为注意地区,并根据其它中短期前兆情况作进一步分析.

从安全区特征考虑,安全区内未发震的是1958年北川6.2级、1970年大邑6.3级、1976年松潘7.2级及1989年小金6.3级地震所在地区及其附近.由统计关系给出,6.2~6.3级地震的安全期约为10~28a.因此,北川和大邑地震所在区域已进入了非安全期,具有发生5级

以上地震的可能. 松潘和小金地震所在区域尚未达到非安全期的下限，属于晚些时候需要注意的区域.

7　结语

四川北部及川甘青交界地区强震活动主要受北东向分布带控制，据其特点及区域特征分析，未来几年该区将处于中强震活动水平. 在此背景下存在 3 个非安全区，即礼县—天水—武山，茂汶—北川—汶川和大邑—天全—宝兴地区. 尤其需注意茂汶—北川—汶川地区，那里有

表 4　四川北部及川甘青交界地区 6 级以上地震后安全区及安全期统计

序号	地震			安全区范围 (km)	安全区内首发地震				安全期 (a)
	时间	地点	震级		时间	地点	震级	Δ/km	
1	1654-07	天水	8	100	1718-06	通渭	7½	65	63.9
2	1718-06	通渭	7½	100	1765-09	武山	6½	28	47.2
				30					259.5
3	1879-06	武都	8	100	1960-02	舟曲	5¼	68	80.5
				30					118.0
4	1713-09	茂汶	7	100	1748-02	汶川	5½	81	34.5
				30					98.5
5	1933-08	茂汶	7½	100	1938-03	松潘	6	50	4.6
				54	1948-10	松潘	5	30	15.1
6	1976-08	松潘	7.2	100					21.3
7	1604-10	礼县	6	100	1634-01	西和	6	28	29.3
8	1630-01	松潘	6¼	100	1713-09	茂汶	7	81	83.6
				60	1748-05	松潘	6½	58	118.3
9	1634-01	西和	6	100	1634 冬	文县	5½	95	0.9
10	1657-04	汶川	6¼	100	1713-09	茂汶	7	81	56.4
11	1748-05	松潘	6½	100	1938-03	松潘	6	77	189.8
12	1765-09	甘谷	6½	100	1885-01	天水	6	72	119.3
13	1837-09	岷县	6	100					160.3
14	1881-07	礼县	6½	100	1882-10	礼县	5	90	1.3
15	1885-01	天水	6	100	1921-02	武山	5	90	36.1
16	1935-07	久治	6	100	1952-08	久治	6	10	17.1
17	1936-08	天水	6	100	1961-10	岷县	5.7	86	25.2
18	1938-03	松潘	6	80	1941-10	黑水	6	36	3.5
				50	1948-10	松潘	5	34	10.6
19	1941-10	黑水	6	100	1948-10	松潘	5	40	7.0
20	1952-08	久治	6	100	1969-11	阿坝	5.3	99	17.3
21	1958-02	北川	6.2	90					39.8
22	1960-11	松潘	6¾	85	1973-05	黄龙	5.1	58	12.5
23	1970-02	大邑	6¼	100					27.8
24	1989-09	小金	6.3	100					8.0

注：将 1973 年 8 月黄龙 6.5 级等 4 次中强地震视为松潘 7.2 级地震的广义前震.

表5 各档次震级安全期时间(安全区 80～100 km)

M	Δt/a
8	42～106
7½	28～71
7	19～48
6½	13～33
6	9～22

发生5级以上地震的可能性.

参考文献

1 韩渭宾,夏大德.松潘、平武地震与川青块体的运动.地震科学研究,1980,(1):45.

2 韩新民,周瑞琦,王兴辉.云南强震活动的"免疫性"特征研究.地震研究.1996,19(3):246～249.

RESEARCH ON THE ACTIVITY TREND OF MODERATELY STRONG EARTHQUAKES IN THE NORTH OF SICHUAN PROVINCE AND ITS VICINITY

Jiang Daochong

(*Chengdu Seismic Station*, *Chengdu* 611730)

Abstract

In order to study the fundamental pattern and feature of moderately strong earthquakes in the north of Sichuan Province and its vicinity, the division of seismicity periods and feature of earthquake migration of north-east seismic belt in the studied region were analyzed. It is pointed out that seismicity were mainly attributed to north-east seismic belt in the studied region. It is considered that there will be possibility of the occurrence of $M \geqslant 6$ earthquakes in the regions of Maowen-Beichuan-Wenchuan, Dayi-Tianquan-Baoxing and Lixian-Tianshui-Wushan in the coming years.

Key words **Seismic activity, Trend prediction, Sichuan**